

під кутом  $50^\circ$  до утворюючої стрижня.

**Список літератури:** 1. Патон Б. Є., Троїцький В. О., Посипайко Ю. М. Неруйнівний контроль в Україні // Інформ. бюл. Українського товариства неруйнівного контролю та технічної діагностики. 2003. № 2(18). С. 5-9. 2. ГОСТ 21120-75 «Прутки и заготовки круглого и прямоугольного сечения» 3. Вовилкин А.Х. Дифракционные методы в ультразвуковом неразрушающем контроле // М.: изд. НТО «Приборпром», 1989. 73 с.

УДК 620.179.14

**Г.М. СУЧКОВ**, проф. доктор техн. наук, НТУ «ХП»

**О.В. ДЕСЯТНИЧЕНКО**, аспірант, НТУ «ХП»

## МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНО – АКУСТИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Проведен анализ математических моделей электромагнитно – акустического преобразователя. Предложены методы построения моделей. Приведены результаты исследований построенных моделей, сравнение с данными реальных измерений. Выделены недостатки, предложены пути повышения качества моделирования.

The analysis of some variants of mathematical model electromagnetic – acoustic converter is carried out. Methods of construction of such model are offered. Results of researches of the constructed models, comparison with the data of real measurements are resulted. Lacks are allocated, ways of increase of reliability of modelling are offered.

**Вступ.** Електромагнітно – акустичні (ЕМА) методи контролю мають багато переваг, у порівнянні з іншими популярними методами [1]. Основними перевагами є: мала чутливість до якості обробки поверхні вимірюваного матеріалу; відсутність потреби використання контактної рідини; висока швидкість контролю; робота з матеріалами, що нагріті до високої температури [2]. В процесі розробки та пошуку методів побудови електромагнітно – акустичних перетворювачів (ЕМАП), оптимальних сигналів збудження та алгоритмів обробки вимірюваних даних постає задача створення математичної моделі та моделювання процесів у контрольованому матеріалі [3]. Такий підхід має спростити та значно прискорити процес пошуку оптимального набору алгоритмів обробки даних та їх параметрів. Крім того використання математичної моделі дасть змогу зберігати результати роботи для кожного з алгоритмів, для подальшого аналізу і порівняння [4]. Моделі дозволяють користуватися багатими бібліотеками функцій обробки сигналів математичного пакету, і лише на останньому етапі реалізовувати їх в реальному приладі, вже з обчисленими параметрами [5]. Тому проблема створення такої моделі є актуальною.

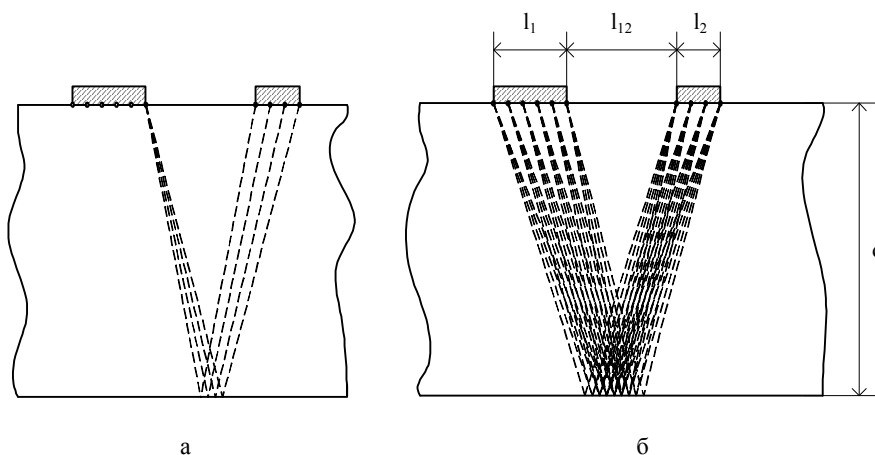


Рис. 1. Модель збуджуючого і приймаючого перетворювачів в геометричному наближенні.

датчики у вигляді математичних точок і процес моделювання розглядати як геометричну задачу [6]. На рис. 1а показано таке представлення датчиків, і нанесені напрямки для однієї точки передаючого ЕМАП. Усі інші напрямки у цієї точки даній задачі не розглядаються. На рис. 1б показані усі напрямки для даних точок. Кожен з датчиків характеризується своїми розмірами  $l_1$  та  $l_2$ , а також кількістю випромінюючих або приймаючих точок  $n_1$  та  $n_2$  відповідно. Також для вирішення геометричної задачі необхідні дані про відстань між датчиками  $l_{12}$ , товщу матеріалу  $d$  та коефіцієнт згасання  $k$ . Відстань, що проходить сигнал обчислюється за теоремою Піфагора. В першому наближенні припускається, що передавач випромінює сигнал з однаковою інтенсивністю по всій площі, а приймач – відповідно приймає з однаковою чутливістю по всій своїй площі. Після прийняття, дані для кожної з точок складаються. Як видно з рис. 1б сигнали проходять різні відстані, а отже, мають згасати по різному [1].

Моделювання показало, що при використанні створеної моделі отримувані результати відрізняються від результатів реальної системи. Тому було проведено вдосконалення моделі. Було зроблено припущення, що інтенсивність випромінювання (чутливість прийому) точки залежить від її положення на площі датчика. Так, наприклад, точки що знаходяться ближче до геометричного центру робочої площі ЕМАП мають більшу інтенсивність, ніж точки біля її країв. Введено функцію розподілення інтенсивності за точками датчиків. Такий

**Основна частина.** Для створення моделі доцільно представити передаючий ЕМАП як випромінюючу поверхню об'єкту контролю (ОК), від якої акустичне поле розповсюджується у усіх напрямках. І хоча в реальному ЕМАП збудження акустичних хвиль безперервне для усієї площі датчика, в моделі він представлений у вигляді дискретних математичних точок, що формують акустичне поле. При цьому приймаючий датчик слід визначити у вигляді сукупності точок, кожна з яких фіксує однаково сигнали під різними кутами. Виходячи з цього припущення можна представити передаючий та приймаючий

підхід проілюстровано на рис. 2, де показано приклад функції розподілу та її проекцію на датчик. На цьому рисунку  $A$  – інтенсивність, а  $l$  – відстань від центру датчика. Моделювання такої системи з різними функціями інтенсивності показало суттєву залежність результату від цієї функції.

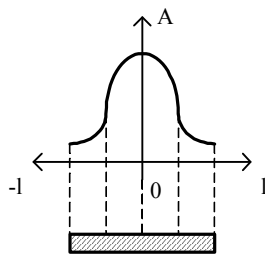


Рис. 2. Прийнятий розподіл інтенсивності випромінювання для збуджуючого та приймаючого перетворювачів.

Аналіз отриманих результатів показав необхідність введення даних про діаграму спрямованості ЕМАП. Для цього було розроблено спеціальний стенд (рис. 3а). В основу стенду покладено державний стандартний візирець СО-3 з нанесеною розміткою (значеннями кута). Розміщення випромінюючого та приймаючого ЕМАП наведено на рис. 3б. Випромінюючий ЕМАП встановлено стаціонарно. При кожному вимірюванні приймаючий датчик встановлюється біля відповідного значення кута, після чого фіксується значення амплітуди сигналу. Вимірювання проводилися для значень кута від  $-90^\circ$  до  $90^\circ$  з кроком  $2,5^\circ$ . Таке значення кроку можна вважати оптимальним, адже при більшому кроці точність вимірювань значно погіршується (особливо в при значеннях кута близько нуля – в зоні найбільшої інтенсивності), а при менших значеннях кроку стає помітною похибка, що пов'язана зі складністю точно встановити прийомного ЕМАП (за умов кроку  $2,5^\circ$  відстань між поділками становить близько 2мм). Результати вимірювань внесені в таблицю значень амплітуд залежності від кута відхилення приймаючого датчика. Дані таблиці заносяться в математичний пакет, де ці значення нормалізуються (щоб максимальне значення було рівним одиниці). Отримані результати використовуються для побудови графіків для

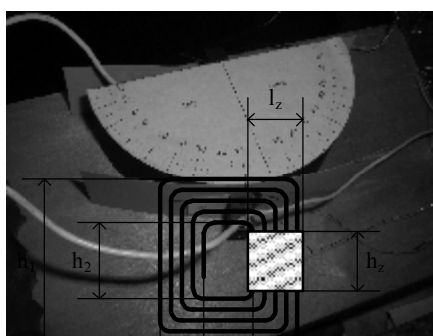


Рис. 3. Стенд для вимірювання діаграми спрямованості ЕМА перетворювача

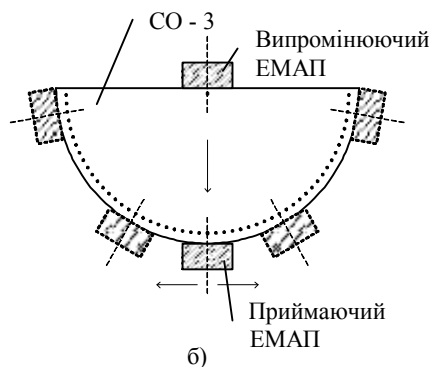


Рис. 4. Основні геометричні параметри перетворювача.

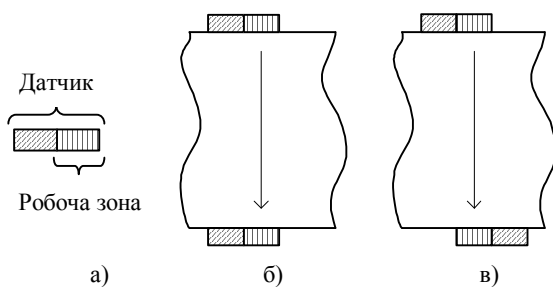


Рис. 5. Взаємне положення ЕМА перетворювачів.

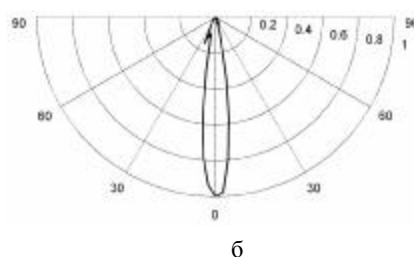
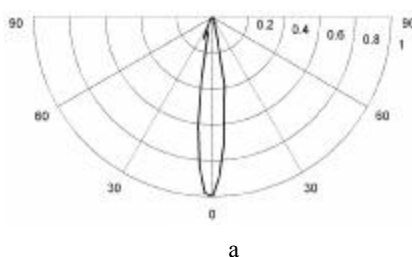
кожного дослідженого перетворювача. Побудова перетворювача та його основні геометричні розміри визначено на рис. 4. На рисунку  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $l_1$  та  $l_2$  – геометричні параметри котушки ЕМАП. Ділянка паралельних провідників у постійному магнітному полі, вектор індукції якого нормальний до поверхні ОК, є робочою зоною ЕМАП та характеризується розмірами  $h_z$  та  $l_z$ . Принципи побудови передаючого та приймаючого датчиків не відрізняються [1]. Як видно з рисунку, положення робочої зони не симетричне відносно котушки, тому було зроблено припущення, що взаємне положення приймаючого та збуджуючого ЕМАП матиме вплив на характер діаграми спрямованості. Варіанти взаємного положення датчиків показано на рис. 5. На рис. 5а визначено схематичне позначення положення робочої зони. На рис. 5б показано положення, коли датчики розташовані один навпроти одного, а на рис. 5в – положення, коли один з датчиків повернуто на  $180^\circ$  у площині, перпендикулярній напрямку випромінювання. Отже, для кожного датчика проводилося два повних цикли вимірювання, які відрізнялися між собою положенням приймаючого ЕМАП.

Основною задачею вимірювання було отримання діаграм спрямованості ЕМАП, а також виявлення закономірності характеру цієї діаграми від геометричних розмірів та конструктивних особливостей датчика. Досліджено залежність характеру діаграми напруженості від взаємного положення

двох датчиків.

Отримані експериментальні дані показали наявність досить вузької основної пелюстки і незначні побічні. Для прикладу реалізації вимірювань наведено дані 3-х ЕМАП з різними геометричними параметрами (див. рис. 4). Параметри приймаючого датчика в усіх вимірюваннях були однаковими.

Діаграми спрямованості першого датчика показана на рис. 6. Параметри датчика були такими:  $l_1 = 15\text{мм}$ ;  $l_2 = 6\text{мм}$ ;  $h_1 = 23\text{мм}$ ;  $h_2 = 14\text{мм}$ ;  $l_z = 4,5\text{мм}$ ;  $h_z = 7\text{мм}$ . Тут, і далі, діаграма (а) зображує результат, отриманий за умов, коли датчики були розташовані один навпроти одного (див. рис. 5б), а діаграма (б) – коли приймач було повернуто на  $180^\circ$  (див. рис. 5в). З приведених результатів можна зробити висновок, що побічні пелюстки незначні і ними можна знехтувати.



На рисунку 7 наведено діаграми спрямованості датчика №2. Його геометричні розміри:  $l_1 = 16\text{мм}$ ;  $l_2 = 6\text{мм}$ ;  $h_1 = 24\text{мм}$ ;

$h_2 = 14\text{мм}$ ;  $l_z = 5\text{мм}$ ;  $h_z = 7\text{мм}$ . Аналіз наведених даних дає можливість зробити висновок, що основний пелюсток досить вузький, але на відміну від попереднього ЕМАП №1 він має незначні побічні пелюстки.

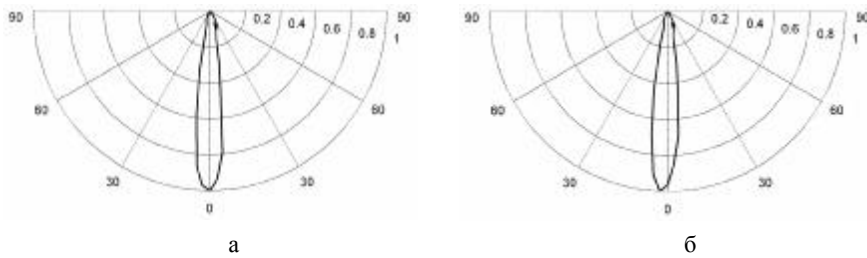


Рис. 6. Діаграми спрямованості датчика №1.

показано, що кут розкриття більший для більш широкої робочої зони ЕМАП. З першої точки зору це не відповідає відомим результатам, отриманим для традиційних п'єзоелектричних перетворювачів [7]. Проте подальший аналіз дозволив встановити, що такий результат обумовлений недостатньою відстанню між збуджуючим та прийомним ЕМА перетворювачами. При радіусі СО-3 59 мм ЕМАП приймає акустичні сигнали не в зоні Фраунгофера, а в перехідній між нею і зоною Френеля [8]. В цьому випадку випромінювач не можна сприймати як точковий.

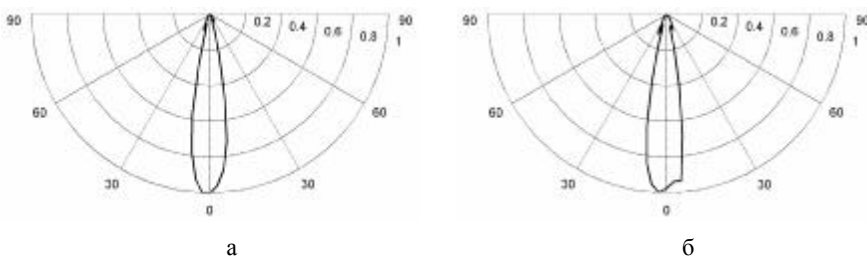


Рис. 8. Діаграми спрямованості датчика №3.

ЕМАП №3 мав найбільші розміри:  $l_1 = 17\text{мм}$ ;  $l_2 = 5,5\text{мм}$ ;  $h_1 = 29\text{мм}$ ;  $h_2 = 14\text{мм}$ ;  $l_z = 5,75\text{мм}$ ;  $h_z = 7\text{мм}$ . Його основний пелюсток (рис. 8) значно ширший, ніж у попередніх перетворювачів.

Аналіз отриманих результатів показує, що розкриття діаграми спрямованості ЕМАП залежить від ширини робочої зони перетворювача. При цьому

з отриманих результатів можна зробити висновок про необхідність удосконалення моделі, яке має враховувати усі вищенаведені принципи, а саме: необхідність введення функції розподілу інтенсивності та залежності інтенсивності від кута випромінювання відносно нормалі.

#### Висновки.

Показано, що моделювання ЕМАП не можна спростити до рішення геометричної задачі, користуючись припущенням, що кожна нескінченно мала ділянка перетворювача випромінює сигнал рівномірно в усіх напрямках. Установлена необхідність удосконалення моделі шляхом урахування особливостей діаграми спрямованості. Проведені практичні досліди реальних ЕМАП і показано залежність кута розкриття діаграми напруженості від ширини робочої зони, кут розкриття якого більший для більш широкої робочої зони.

**Список літератури:** 1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т.3: Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. – М.: Машиностроение, 2004. – 864 с. 2. Сучков Г.М. Развитие теории и практики приборов для электромагнитно-акустического контроля металлов. Автореферат диссертации на звание кандидата технических наук. – Харьков, Друкерия НТУ «ХПИ», 2005. – 37с. 3. Коткин Г.Л., Черкасский В.С. Компьютерное моделирование физических процессов с использованием MATLAB: Учеб. пособие / Новосиб. ун-т. Новосибирск, 2001. – 173 с. 4. Поринев С.В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB. - Горячая Линия – Телеком, – 2003. 5. Поринев С.В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB. - Горячая Линия – Телеком, – 2003. 6. Ультразвуковой контроль материалов: Справ. Изд. Крауткремер Й., Крауткремер Г.; Пер. с нем. – М.: Металлургия, 1991. – 752 с. 7. Ермолов И. Н. Теория и практика ультразвукового контроля. – М.Ж Машиностроение, 1981. – 240 с. 8. Выборнов Б.И. Ультразвуковая дефектоскопия, 2-е изд. – М. Металлургия, 1985. – 256 с.

УДК 620. 179. 16: 620. 179. 17

**Г.М. СУЧКОВ**, проф. д-р техн. наук, НТУ «ХПИ»  
**Л.В. ГЛЄБОВА**, магістрант, НТУ «ХПИ»

### ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЗБУДЖЕННЯ АКУСТИЧНИХ ІМПУЛЬСІВ ЄМНІСНИМ МЕТОДОМ

Приведены результаты экспериментальных исследований преобразователей ёмкостного типа для возбуждения ультразвуковых импульсов. Показана возможность возбуждения акустических импульсов с чувствительностью, достаточной для выполнения неразрушающего контроля и измерений.

The results of an experimental research of capacity transformers for excitation of ultrasonic impulses are presented. The possibility of acoustic impulses excitation with sensitiveness sufficient for implementation of non-destructive control and measuring is shown.

**Вступ.** Підвищення вимог до якості промислової продукції зумовило інтенсивний розвиток засобів ультразвукового контролю матеріалів і виробів [1]. Їх основу складають прилади, що реалізують контактний метод